



高等院校化学化工类专业系列教材

Material Science and Technology

材料科学与技术

■ 主 编 杨金田 曹 枫



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社



高等院校化学化工类专业系列教材

Material Science and Technology

材料科学与技术

■ 主 编 杨金田 曹 枫



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

内 容 提 要

本教材内容包括材料与材料科学、材料的结构与性能、材料的制备与成型、金属材料、无机非金属材料、高分子材料、复合材料、高新材料共 8 章。其中前 3 章介绍材料及材料科学的共性基础知识与技术,后 5 章分章讨论金属材料、无机非金属材料、高分子材料、复合材料、高新材料五大典型材料的基本概念、性能特征、典型产品、制备(加工)原理及生产技术。

全书融知识、技术、应用于一体,充分兼顾普通高校的办学定位和应用型本科教育的教学实际。在内容取舍上,适当放低理论深度,突出实际应用,强化能力的培养,体现最新成果。本教材内容精炼,层次清晰,系统性、应用性、可读性强。

本教材适合作为普通高校的材料学、材料化学、材料物理、材料科学与工程及相关相近专业本科学生的专业基础课程教材,也可作为从事金属材料、无机非金属材料和高分子材料等研究、生产、加工和销售的科研人员、工程技术人员和营销人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

材料科学与技术/杨金田,曹枫主编. —杭州:浙江大学出版社,2012.5

ISBN 978-7-308-09960-8

I. ①材… II. ①杨…②曹 III. ①材料科学—高等学校—教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 088805 号

材料科学与技术

杨金田 曹 枫 主编

丛书策划 樊晓燕 季 峥

责任编辑 季 峥(really@zju.edu.cn)

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州大漠照排印刷有限公司

印 刷 德清县第二印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 13.75

字 数 335 千

版 印 次 2012 年 5 月第 1 版 2012 年 5 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-09960-8

定 价 30.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571) 88925591

前 言

随着经济全球化、高教大众化、人才市场化的不断推进,社会对人才质量的要求不断提升,人才需求的层次和规格呈多样化趋势。一大批以培养应用型人才为己任的普通高校和相应的应用型本科专业应运而生。这类高校的办学定位和人才培养模式既不同于以培养学术型人才为目标的大学,也不同于以培养技术型人才为目标的职业技术学院。

与应用型本科教育快速发展不相适应的是,作为知识传承载体的教材建设仍较滞后。虽然现在市场上的高校教材很多,但有的偏重于研究型,有的偏重于实用型,真正适合于应用型人才培养的教材极少,特别是适用于材料专业应用型本科教育的教材更少。为此,我们在浙江省教育厅和浙江大学出版社的支持下,邀请部分普通高校中富有教学经验的教师一起编写了这本《材料科学与技术》。

本教材基于应用型人才培养目标,遵循“素质、知识、能力协调发展”和“少而精”的原则,按浙江省教学指导委员会提出的“化学化工类材料科学与技术课程教学基本要求”,在不削弱基本原理、基本理论的前提下,充分兼顾普通本科高校(包括独立学院)的办学定位和教学实际。内容包括材料与材料科学、材料的结构与性能、材料的制备与成型、金属材料、无机非金属材料、高分子材料、复合材料、高新材料共8章。其中前3章专门介绍材料及材料科学的共性基础知识与技术,后5章分别讨论金属材料、无机非金属材料、高分子材料、复合材料、高新材料五大典型材料的基本概念、性能特征、典型产品、制备(加工)原理及生产技术。全书融知识、技术、应用于一体。在内容取舍上,适当放低理论深度,

突出实际应用,强化能力的培养,体现最新成果。每章后都附有相应的思考与练习题,并尽量体现习题的多样性、新颖性和实用性。本教材可供普通本科高校(含独立学院)材料学、材料化学、材料物理、材料科学与工程、无机非金属材料工程、高分子材料与工程、复合材料与工程、高分子材料加工工程等专业学生使用。

各章执笔人员如下:第1章,湖州师范学院曹枫;第2章,杭州师范大学羊海棠;第3章,温州大学王稼国;第4章,湖州师范学院陈海锋和嘉兴学院谷俐;第5章,湖州师范学院唐培松(其中5.3节王稼国,5.4节曹枫);第6章,湖州师范学院杨金田;第7章,台州学院何冰晶;第8章,台州学院闫瑞强。全书由杨金田、曹枫任主编并统稿。

囿于编者水平和时间仓促,书中不妥或不足之处在所难免,敬请广大读者斧正。

编 者

2012.03.08

目 录

第 1 章 材料与材料科学	1
1.1 材料的地位、作用与发展历程.....	1
1.2 材料的分类	2
1.3 材料的要素	6
1.4 材料科学展望	7
第 2 章 材料的结构与性能	10
2.1 材料的组成.....	10
2.2 材料的结构.....	11
2.3 材料的性能.....	18
2.4 结构与性能的关系.....	41
第 3 章 材料的制备与成型	42
3.1 原材料的选用.....	42
3.2 材料的制备方法.....	47
3.3 材料的成型技术.....	59
第 4 章 金属材料.....	68
4.1 金属概述.....	69
4.2 黑色金属.....	80
4.3 有色金属.....	94
第 5 章 无机非金属材料.....	99
5.1 水泥	100

5.2	玻璃	107
5.3	陶瓷	115
5.4	耐火材料	126
第 6 章	高分子材料	134
6.1	高分子材料概述	134
6.2	常用高分子材料	143
6.3	典型高分子材料的生产	153
第 7 章	复合材料	167
7.1	复合材料概述	167
7.2	常用复合材料	172
7.3	复合材料的发展趋势	182
第 8 章	高新材料	186
8.1	高新材料概述	186
8.2	纳米材料	188
8.3	生物材料	198
8.4	功能材料	202
8.5	其他高新材料	209
参考文献		211

第 1 章

材料与材料科学 (Material and Material Science)

学习要求

- 了解材料科学的地位、作用、发展简史。
- 了解材料的主要种类、性能特点及其应用。
- 了解材料的要素。
- 了解材料及材料科学的发展趋势。

材料是人类文明的物质基础和先导,是直接推动社会发展的动力,是衡量人类社会文明程度及劳动力发展水平的标志。当今世界,人类已经跨入人工合成新材料的崭新时代。

1.1 材料的地位、作用与发展历程

材料的发现、发明和使用使人类在与自然的斗争中走出混沌蒙昧,走向科学技术高度发展的今天。人类的文明史就是材料的发展史。某一种新材料的问世及其应用,往往会引起人类社会的重大变革。人们把人类历史分为石器、青铜器和铁器时代。

石器时代又分为旧石器时代和新石器时代,这是一个极其漫长的历史时期,大致可以追溯到 250 万年前。旧石器时代,为了生存、抵御猛兽袭击和猎取食物,人类逐渐学会了使用天然材料,如木棒、石块等。然而,这种纯天然材料使用起来并不得得心应手,也不够犀利。于是,人类开始用石英石、火遂石(俗称火石)等为材料人工打制石器,如石矢、石刀、石铲、石凿、石斧、石球等。火遂石是一种发火材料,猛烈敲击能发出火星,引燃枯草、树叶、树皮、树枝等可燃物质。火遂石的使用,是人类文明的一个重要里程碑。当人类学会了人工取火,结束了茹毛饮血的生活。

大约 10000 年前,人类通过简单加工获得石器,帮助狩猎护身和生存。随着对石器加工制作水平的提高,出现了制陶、纺织等原始手工业,此时称为新石器时代。此时的人类用石头作建筑材料,用土制作砖瓦,并学会使用稻草作增强材料,掺入粘土中,用太阳晒干制砖,

以后又学会了火烧制砖。先民们利用石头和砖瓦创造了辉煌的历史。

在人类历史上有过一个辉煌灿烂的青铜器时代。早在公元前 8000 年,人类已发现并利用天然铜块制作铜兵器和铜工具。公元前 5000 年,人类学会了用铜矿石炼铜。铜是人类获得的第二种人造材料。随后,先民们发现,在铜中加入部分锡,可使原来较软的铜制品变得更坚韧、耐磨,于是就诞生了人类历史上第一种合金——青铜,它是由铜、锡、铝等元素组成的合金。与纯铜相比,青铜的熔点低,硬度高,比石器易制作且耐用。考古学研究表明,青铜文明的源头在古代中国、美索不达米亚平原(现伊拉克境内)和埃及等。青铜器在我国商代已经盛行,那时的人们已掌握了冶炼 6 种不同铜、锡比例的青铜技术,其配比之精确与现代研究基本一致,如已知含锡量 $1/6$ 的青铜韧性较好,可做钟鼎;含锡量 $2/5$ 的青铜较硬,可做刀斧。青铜器的应用大大促进了农业和手工业的发展。

铁器时代被认为是始于 2000 多年前。早在远古时代,先民们已经使用陨铁制作武器或其他器物。春秋战国时期,由铁制作的农具、手工工具及各种兵器得以广泛应用,大大促进了当时社会的发展。钢铁、水泥等材料的出现和广泛应用,令人类从农业和手工业社会进入了工业社会。

随着科学技术和工业的发展,人类对材料提出了质量轻、功能多、价格低等要求。同时,人类掌握了丰富知识和生产技能,已能人为地制造出一些自然界不存在的材料,来满足社会各种各样的要求。这是材料发展的材料科学,即进入了人工合成时代,涌现了合成塑料、合成橡胶、合成纤维、精细陶瓷、复合材料、超晶格材料、异质结材料等一大批高新材料。进入近代,18 世纪蒸汽机的发明和 19 世纪电动机的发明,使材料科学与技术获得了飞速的发展。

目前,人类正进入信息社会,材料、能源和信息技术成为新技术革命的三大支柱。一个国家的材料品种、数量和质量已成为衡量该国科学技术、国民经济水平和国防力量的重要标志。

1.2 材料的分类

材料的分类方法很多,通常按组成、结构特点进行分类,如金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料等。

1.2.1 金属材料

1. 金属材料的分类

金属材料是金属元素或以金属元素为主构成的具有金属特性的材料的统称,包括黑色金属、有色金属和特殊金属材料。

①黑色金属。又称钢铁,包括含铁 $>99\%$ 的工业纯铁、含碳 $2\% \sim 4\%$ 的铸铁、含碳 $<2\%$ 的碳钢,以及各种用途的结构钢、不锈钢、耐热钢、高温合金、精密合金等。广义的黑色金属还包括铬、锰及其合金。

②有色金属。指除铁、铬、锰以外的所有金属及其合金,通常分为轻金属、重金属、贵金

属、半金属、稀有金属和稀土金属等。有色合金的强度和硬度一般比纯金属高,并且电阻大,电阻温度系数小。

③特种金属。包括不同用途的结构金属材料 and 功能金属材料。其中有通过快速凝固工艺获得的非晶态金属材料,以及准晶、微晶、纳米晶金属材料等,还有隐身、抗氢、超导、形状记忆、耐磨、减振阻尼等特殊功能合金以及金属基复合材料等。

2. 金属材料的性能

(1) 化学性能

金属材料的化学性能主要包括金属的抗蚀性、抗氧化性(又称氧化抗力,尤指金属在高温时对氧化作用的抵抗能力或稳定性),以及不同金属之间、金属与非金属之间形成的化合物对机械性能的影响等。在金属的化学性能中,抗蚀性对金属的腐蚀、疲劳、损伤有着重大的意义。

(2) 物理性能

金属的物理性能主要有:

①密度。在实际应用中,除了根据密度计算金属零件的重量外,常需考虑金属的比强度(强度与密度之比)、与无损检测相关的声学检测中的声阻抗(密度 ρ 与声速 c 的乘积)和射线检测中密度不同的物质对射线能量的吸收能力等来帮助选材。

②熔点。熔点对金属材料的熔炼、热加工有直接影响,并与材料的高温性能有很大关系。

③热膨胀性。随着温度变化,材料的体积也发生变化(膨胀或收缩)的现象称为热膨胀,多用线膨胀系数衡量,即温度变化 1°C 时,材料长度的增减量与其 0°C 时的长度之比。热膨胀性与材料的比热容有关。在实际应用中还要考虑比容(材料受温度等外界影响时,单位重量的材料其容积的增减,即容积与质量之比),特别是对于在高温环境下工作,或者在冷、热交替环境中工作的金属零件,必须考虑其热膨胀性的影响。

④磁性。能吸引铁磁性物体的性质即为磁性。它反映在磁导率、磁滞损耗、剩余磁感应强度、矫顽磁力等参数上,从而可以把金属材料分成顺磁与逆磁、软磁与硬磁材料。

⑤电学性能。主要考虑其电导率,在电磁无损检测中对其电阻率和涡流损耗等都有影响。

1.2.2 无机非金属材料

无机非金属材料是以某些元素的氧化物、碳化物、氮化物、卤化物、硼化物以及硅酸盐、铝酸盐、磷酸盐、硼酸盐等物质组成的材料,是除有机高分子材料和金属材料以外的所有材料的统称。

在晶体结构上,无机非金属的晶体结构远比金属复杂,并且没有自由的电子,具有比金属键和纯共价键更强的离子键和混合键。这种化学键所特有的高键能、高键强赋予这一大类材料以高熔点、高硬度、耐腐蚀、耐磨损、高强度和良好的抗氧化性等基本属性,以及宽广的导电性、隔热性、透光性和良好的铁电性、铁磁性、压电性。

无机非金属材料的品种和名目极其繁多,用途各异,因此,还没有一个统一而完善的分

类方法。通常把它们分为普通的(传统的)和先进的(新型的)无机非金属材料两大类。传统无机非金属材料是工业和基本建设所必需的基础材料。如水泥是一种重要的建筑材料;耐火材料与高温技术,尤其是与钢铁工业的发展关系密切;各种规格的平板玻璃、仪器玻璃、普通的光学玻璃以及日用陶瓷、卫生陶瓷、建筑陶瓷、化工陶瓷、电瓷等与人们的生产、生活休戚相关。它们产量大,用途广。新型无机非金属材料是20世纪中期以后发展起来的具有特殊性能和用途的材料。它们是现代新技术、新产业、传统工业技术改造、现代国防和生物医学所不可缺少的物质基础,主要有先进陶瓷、非晶态材料、人工晶体、无机涂层、无机纤维等。

1.2.3 高分子材料

高分子材料是以高分子化合物为基础的材料。高分子材料是由相对分子质量较高的化合物构成的材料。高分子材料按特性分为橡胶、纤维、塑料、高分子胶粘剂、高分子涂料和高分子基复合材料等。高分子是生命存在的形式。所有的生命体都可以看做是高分子的集合。

①橡胶是一类线型柔性高分子聚合物。其分子链间次价力小,分子链柔性好,在外力作用下可产生较大形变,除去外力后能迅速恢复原状。它有天然橡胶和合成橡胶两种。

②高分子纤维分为天然纤维和化学纤维。前者指蚕丝、棉、麻、毛等。后者是以天然高分子或合成高分子为原料,经过纺丝和后处理制得。纤维的次价力大,形变能力小,模量高,一般为结晶聚合物。

③塑料是以合成树脂或化学改性的天然高分子为主要成分,再加入填料、增塑剂和其他添加剂制得。其分子间次价力、模量和形变量等介于橡胶和纤维之间。通常按合成树脂的特性分为热固性塑料和热塑性塑料;按用途又分为通用塑料和工程塑料。

④高分子胶粘剂是以合成天然高分子化合物为主体制成的胶粘材料。它分为天然胶粘剂和合成胶粘剂两种,应用较多的是合成胶粘剂。

⑤高分子涂料是以聚合物为主要成膜物质,添加各种溶剂和添加剂制得。根据成膜物质不同,它分为油脂涂料、天然树脂涂料和合成树脂涂料。

⑥高分子基复合材料是以高分子化合物为基体,添加各种增强材料制得的一种复合材料。它综合了原有材料的性能特点,并可根据需要进行材料设计。

高分子材料的结构决定其性能,通过对结构的控制和改性,可获得不同特性的高分子材料。高分子材料独特的结构和易改性、易加工特点,使其具有其他材料不可比拟、不可取代的优异性能,从而广泛用于科学技术、国防建设和国民经济各个领域,并已成为现代社会生活中衣食住行各个方面不可缺少的材料。

1.2.4 复合材料

复合材料,是以一种材料为基体,另一种材料为增强体组合而成的材料。各种材料在性能上互相取长补短,产生协同效应,使复合材料的综合性能优于原组成材料,从而满足各种不同的要求。复合材料的基体材料分为金属和非金属两大类。金属基体常用的有铝、镁、

铜、钛及其合金。非金属基体主要有合成树脂、橡胶、陶瓷、石墨等。增强材料主要有玻璃纤维、碳纤维、硼纤维、芳纶纤维、碳化硅纤维、石棉纤维、晶须、金属丝和硬质细粒等。

复合材料使用的历史可以追溯到古代。从古至今沿用的稻草增强粘土和已使用上百年的钢筋混凝土均由两种材料复合而成。20世纪40年代,因航空工业发展的需要,发明了玻璃纤维增强塑料(俗称玻璃钢),从此出现了复合材料这一名称。50年代以后,陆续发明了碳纤维、石墨纤维和硼纤维等高强度和高模量纤维。70年代出现了芳纶纤维和碳化硅纤维。这些高强度、高模量纤维能与合成树脂、炭、石墨、陶瓷、橡胶等非金属基体或铝、镁、钛等金属基体复合,构成各具特色的复合材料。

复合材料是一种混合物。复合材料按其组成为金属与金属复合材料、非金属与金属复合材料、非金属与非金属复合材料。按其结构特点又分为:

①纤维复合材料。将各种纤维增强体置于基体材料内复合而成,如纤维增强塑料、纤维增强金属等。

②夹层复合材料。由性质不同的表面材料和芯材组合而成。通常面材强度高、薄;芯材质轻,强度低,但具有一定刚度和厚度。

③细粒复合材料。将硬质细粒均匀分布于基体中,如弥散强化合金、金属陶瓷等。

④混杂复合材料。由两种或两种以上增强体材料混杂于一种基体材料中构成。与普通单增强体复合材料比,其冲击强度、疲劳强度和抗断裂韧性显著提高,并具有特殊的热膨胀性能。它分为层内混杂、层间混杂、夹芯混杂、层内/层间混杂和超混杂复合材料。

复合材料中以纤维增强材料应用最广,用量最大。其特点是密度小、比强度和比模量大。例如碳纤维与环氧树脂复合的材料,其比强度和比模量均比钢和铝合金大数倍,还具有优良的化学稳定性、减摩耐磨、自润滑、耐热、耐疲劳、耐蠕变、消声、电绝缘等性能。石墨纤维与树脂复合可得到膨胀系数几乎等于零的材料。纤维增强材料的另一个特点是各向异性,因此可按制件不同部位的强度要求设计纤维的排列。以碳纤维和碳化硅纤维增强的铝基复合材料为例,在 500°C 时仍能保持足够的强度和模量。碳化硅纤维与钛复合,不但耐热性提高,且耐磨损,可做发动机风扇叶片。碳化硅纤维与陶瓷复合,使用温度可达 1500°C ,比超合金涡轮叶片的使用温度(1100°C)高得多。碳纤维增强碳、石墨纤维增强碳或石墨纤维增强石墨,构成耐烧蚀材料,已用于航天器、火箭导弹和原子能反应堆中。非金属复合材料由于密度小,用于汽车和飞机可减轻重量,提高速度,节约能源。用碳纤维和玻璃纤维混合制成的复合材料片弹簧,其刚度和承载能力与重量大5倍多的钢片弹簧相当。

复合材料可以发挥各种材料的优点,克服单一材料的缺陷,扩大材料的应用范围。由于复合材料具有重量轻、强度高、加工成型方便、弹性优良、耐化学腐蚀和耐候性好等特点,已逐步取代木材及金属合金,广泛应用于航空航天、汽车、电子电气、建筑、健身器材等领域,在近几年更是得到了飞速发展。

1.2.5 高新材料

高新材料是用于新环境、新领域,在使用上能够创新的一种新材料。目前,很多企业正在努力研发高新材料,以提高其市场竞争力。高新材料应用领域很广,从航天飞机到我们的

日常用品都有高新材料的影子。高新材料将是工业发展必需的产物,高新材料的出现也给人类的生产生活带来了便利(详见第8章)。

1.3 材料的要素

随着科学技术的发展和人们对材料科学与工程关键问题认识的日益深化,材料研究已深入到分子、原子、电子的微观尺度研究化学结构与分子结构,如核外电子层排列方式、原子间的结合力、化学组成与结构、立体规整性、支链、侧基、交联程度、晶体结构、链形态等。人们发现,每当一种材料被创造、发现和生产出来时,该材料所表现出来的性质和现象是人们关心的中心问题,而材料的性质和现象取决于成分和各种层次上的结构,材料的结构又是合成和加工的结果,最终得到的材料制品必须能以经济和社会可以接受的方式完成某一指定的任务。因此,无论哪种材料都包括了四个要素。

①性质和现象:赋予了材料的价值和应用性。

②使用性能:是材料在使用条件下应用性能的度量。

③成分和结构:包括了决定材料性质和使用性能的原子类型和排列方式。

④合成和加工:实现了特定原子排列。

在这四个要素上,各种材料相互借鉴,相互补充,相互渗透。抓住了这四个要素,就抓住了材料科学与工程研究的本质,使材料科技工作者可以识别和跟踪材料科学与工程研究的主要发展趋势。

1.3.1 性质和现象

性质是材料功能特性和效用(如电、磁、光、热、力学等性质)的定量度量和描述。任何一种材料都有其特征的性能和应用。例如,金属材料具有刚性和硬度,可以用作各种结构件;金属材料也具有延性,可以加工成导电或受力用线材;一些特种合金,如不锈钢、形状记忆合金、超导合金等,可以用作耐腐蚀材料、智能材料和超导材料等;利用金刚石的耀度和透明性,可制成光彩夺目的宝石和高性能光学涂层;而利用金刚石的硬度和导热性,可用作切削工具和传导材料;高分子材料以其各种独特的性能使其在各种不同的产品上发挥作用,如作为汽车等各类交通工具的内饰件、外装件、功能件等,建筑材料,电子电器材料,航天航空材料等。

材料的性质也表示了其对外界刺激(如电场、磁场、温度场、力场等)的整体响应。材料的导电性、导热性、光学性能、磁化率、超导转变温度、力学性能等都是材料在相应应力场作用下的响应。

任何状态(固态、液态)、任何尺度(宏观或微观尺度)的材料,其性能都是经合成或加工后材料成分和结构所产生的结果。弄清性质和结构的关系,可以合成性质更好的(至少是具有某种预定性质的)材料,并可按所需综合性质设计材料,而且最终将影响到材料的使用性能(应用)。

1.3.2 使用性能

使用性能通常指材料在最终使用状态时的行为,是材料固有性质与产品设计、工程能力和人类需要相融合的一个要素。必须以使用性能为基础进行设计,才能得到最佳的方案。因此,往往将材料的合成和加工、材料的性质看做是元器件或设备设计过程中必不可少的一个组成部分。材料的性质是在元器件或设备上实现预期的使用性能而得到利用的,即使用性能取决于材料的性质。使用性能包括可靠性、有效寿命、速度(器件或车辆的)、能量利用率(机器或常用运载工具的)、安全性和寿命期费用等。因此,建立使用性能与材料基本性质相关联的模型,了解失效模式,发展合理的仿真试验程序,开展可靠性、耐用性、预测寿命的研究,以最低代价延长使用期,对先进材料的研制、设计是至关重要的。

1.3.3 成分和结构

每种特定的材料都含有一个从原子和电子尺度到宏观尺度的结构体系。对于大多数材料而言,所有这些结构尺度上化学成分和分布是立体变化的,这是制造该种特定材料所采用的合成和加工的结果。而结构上几乎无限的变化同样会引起与此相应的一系列复杂的材料性质。因此,在各种尺度上对结构与成分的深入了解是材料科学与工程的一个主要方面。

1.3.4 合成和加工

合成与加工是指建立原子、分子和分子聚集体的新排列,在从原子尺度到宏观尺度的所有尺度上对结构进行控制以及高效而有竞争力地制造材料和零件的演变过程。合成是在固体中发现新的化学现象和物理现象的主要源泉,合成还是新技术开发和现有技术改进中的关键要素。合成的作用包括合成新材料、用新技术合成已知的材料或将已知材料合成新的形式,将已知材料按特殊用途的要求来合成三个方面。而加工(这里所指的加工实际上是成型加工),除了上述为生产出有用材料对原子和分子的控制外,还包括在较大尺度上的改变,有时也包括材料制造等工程方面的问题。

对企业来说,材料的合成和加工是获得高质量和低成本产品的关键,把各种材料加工成整体材料、元器件、结构或系统的方法都将关系到工作的成败,材料加工能力对于把新材料转变成有用制品或改进现有材料制品都是十分重要的。材料加工涉及许多学科,是科学、工程以及经验的综合,是制造技术的一部分,也是整个技术发展的关键一步。

1.4 材料科学展望

21 世纪,以计算机、多媒体和网络技术为代表的通信产业,以基因工程、克隆技术为代表的生物技术,以核能、风能、太阳能、潮汐能等为代表的新能源技术,以探索太空为代表的

宇航技术等等都对材料开发提出了更新更高的要求。复合化、功能化、智能化、极限化、仿生化、环境友好化将成为材料开发的目标。

1.4.1 性能化、功能化、智能化

随着对材料的性能与微观结构的研究的开展,人们正在逐步揭示和掌握决定材料性能的本质,并通过新工艺、新技术、新设备,在日益成熟的现代材料的设计理论的指导下,创造出各种性能更好的高新材料。结构材料在向强度、刚度、韧性、耐高温、耐腐蚀、高弹、高阻尼大幅度提高的方向发展。高性能结构材料的不断出现和广泛应用,促进新产品向体积小、重量轻、资源省、能耗低、成本低、利润高的方向发展。功能材料也在由单一功能向多种功能开发方向发展,并把功能材料与元器件结合起来,实现一体化,即材料本身就具有元器件的功能,这样就促进了元器件的小型化和多功能化。智能材料(如形状记忆合金、压电陶瓷、光导纤维,磁致伸缩材料等)是近年来与信息科学紧密结合而产生的,它同时具有感知和激励双重功能。智能材料是一种超功能材料,这些功能往往能够解决传统材料难以解决的技术难题,在重要工程和尖端技术领域具有重大的应用前景。例如,美国空军采用智能材料制造飞机机翼,可随工作状态的不同自动调节形状,改变升力和阻力,以适应飞机的起降,使飞机更加安全,降低油耗。将微型分子传感器植入材料和分子结构中,用这些建造的构件和建筑物可进行自动监控,如果超负荷或者老化可发出警报。

1.4.2 复合化

由于单一材料(如金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子材料)都有各自的优缺点,难以满足当代高技术中对材料的综合性能的要求,因此现代材料科学正朝着复合材料方向发展。把不同种类和不同性能的材料通过一定的途径和技术复合为一体,扬长避短,取长补短,可获得比单一材料性能更好或具有某种特殊性能的复合体材料。例如,由碳纤维增强的陶瓷基复合材料,其冲击强度比普通陶瓷高 40 倍,能经受数千度高温,已成为航空工业的重要结构材料。材料的复合化是改进和提高材料性能的一条很好的途径,是当前新材料研究的重要发展方向。

1.4.3 极限化

极限化的含义是指在尺寸、压力、温度、纯度各种量纲范围内追求极限,使材料的性能产生根本性的飞跃。例如,在超高温、超高压条件下用石墨可合成金刚石;在超高真空中制备新型的半导体器件和高度集成的芯片;利用宇宙空间实验室内的微重力、高真空、超低温、无菌等特殊环境制备在地球地面上无法制备的具有特殊性能的新材料,如合成新医药制品、冶炼高纯金属等。

1.4.4 仿生化

通过研究自然界中生物体的物质结构及其特有的功能,获得一种制备新材料的思路和途径,并在某些材料的设计和制造中加以模仿,用现有的简单而丰富的原料,通过错综复杂的生物过程制得高强度和多功能的新材料。例如,人们在对蜘蛛丝的研究中发现,蛛丝比钢丝强度更高,更富有弹性,具有很强的抗冲击能力,而且低温性能良好,是制造防弹服装和降落伞的理想材料,于是人们得到启示,通过把水溶性的蛋白质分子纺织成既坚韧又不溶解的人造蛛丝,用来制作军用品。生物医用材料也是一种仿生材料,与人体组织有很好的相容性能,可对人体组织和器官进行矫形,修补,再造,以维持原有性能,保障人体健康。某些仿生材料以生物体合成的蛋白质为基础,用它取代以矿石为原料的金属材料和以石油为原料的工程塑料高分子材料,既能解决资源枯竭问题,又对环境没有危害,从而开创材料科学发展的新纪元。

1.4.5 环境友好化

在资源不断枯竭、环境不断恶化的情况下,为确保人类社会文明的可持续发展,材料科学家提出了绿色材料或环境友好材料的概念。它是一种资源和能源消耗少、再生循环利用率高、或可降解使用的具有优异适用性能的高新材料。与传统材料相比,环境友好材料充分注意到人类发展的长远利益,以满足人类社会可持续发展的目标。例如,废弃的普通塑料越来越多,并因其耐久性而长久存留在自然界中,已经成为公害。目前研制出的可降解塑料(如生物降解塑料、化学降解塑料、光降解塑料)就是利用微生物、化学或光照的作用把塑料降解掉,使之变成无害物质回归自然。

材料与人类生活息息相关,人类生活的进步、人类社会的发展都是以材料的发展为前提的,因此性能不断提高、来源愈来愈广泛、能满足人类生活和社会日益增加的需要的先进材料将会以更快的速度、更高的质量和性能而获得发展。我们有理由相信,在人类科技将会取得辉煌进步的 21 世纪,一系列高性能、用途广泛的先进材料将会层出不穷,渗透到我们生活中的每一个角落、每一个领域,明天的生活将更加多姿多彩!

思考与练习题

1. 材料的发展简史如何?
2. 材料具有怎么样的地位和作用?
3. 材料必须具备哪些要素?
4. 若按组成、结构特点进行分类,则可将材料分为哪些类型? 各有哪些主要特点?
5. 材料科学的发展趋势如何?

第 2 章

材料的结构与性能

(The Structure and Property of Material)

学习要求

- 了解材料的组成与结构形式。
- 了解材料的各种性能及其测试方法。
- 了解影响材料性能的主要因素。
- 了解材料结构与性能的关系。

材料与能源、信息和环境并列为当今世界的四大支柱。材料之所以“能用”并备受重视，是因为无论是金属材料、无机非金属材料还是高分子材料，都有着各自独特的“使用性”。材料在宏观上表现出来的使用性能又与微观上的组成和结构密不可分。本章介绍各种材料的组成、结构以及由结构所决定的各类材料的性能。

2.1 材料的组成

俗话说：“种瓜得瓜，种豆得豆。”这反映的是种子与果实之间的因果联系。材料亦然：材料由什么物质组成，从最基础的层次决定着材料的性能。

2.1.1 材料的化学组成

材料是千姿百态、千变万化的。众所周知，人类已经发现的元素总共也就 110 几种，其中不少还因具有放射性而不能稳定存在。因此，真正组成材料的元素种类并不很多。

在金属材料中，最主要的化学元素是碳(C)和铁(Fe)。这两种元素赋予金属材料基本性质。加入其他元素，如锰(Mn)、锡(Sn)、钛(Ti)、钒(V)、镍(Ni)等各种金属元素以及氧(O)、硫(S)等非金属元素就赋予金属材料多种特性。

在无机非金属材料中，最主要的化学元素是氧(O)、硅(Si)和钙(Ca)、铝(Al)、镁(Mg)。